

Analisis Produksi Energi dari Inverter pada *Grid-connected* PLTS 1 MWp di Desa Kayubih Kabupaten Bangli

A. A. Ngurah Bagus Budi Nathawibawa¹, I Nyoman Satya Kumara², Wayan Gede Ariastina³

Abstract—Inverter is a very important component of a grid-connected PV plant due to its function to convert DC power output of the PV module to AC power. Inverter is built from many components to support its operation so it is the most complex component in a PV systems. The 1 MWp grid-connected Kayubih PV Plant uses 50 units of 20 kW inverter. This research is aimed to obtain inverters performance also the effect of string array position to energy production of the plant. Energy production analysis of the plant is conducted by mapping the energy production percentage of each inverter, then inverter with the highest energy production percentage is nominated as the reference to measure the performance of other inverters. The analysis considers string array location which connected to the inverter too and also based on the site condition of PV location. It is found that the highest energy production is shown by inverter 44-E5 with energy output of 17.827 kWh and the lowest is inverter 8-D3 at 8.898 kWh. The highest average energy production is inverter 44-E5 at 72,47 kWh/day, and the lowest is inverter 11-C5 at 39,26 kWh/day. Based on the analysis, it can be concluded that all inverter in Kayubih PV Plant has its energy production greater than or equal to 75% of the optimum energy output of string array and the inverter 29-B9 has the highest energy production percentage.

Intisari—Inverter merupakan komponen yang sangat penting dalam sebuah PLTS yang terhubung dengan jaringan listrik karena fungsinya untuk mengubah daya keluaran DC modul surya menjadi daya AC. Inverter dibangun dari berbagai macam komponen untuk menunjang operasinya, sehingga inverter adalah komponen paling kompleks di dalam sistem PLTS. *Grid-connected* PLTS 1 MWp Kayubih menggunakan 50 unit inverter dengan kapasitas masing-masing 20 kW. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja inverter serta pengaruh posisi *string array* terhadap produksi energi PLTS. Analisis produksi energi di PLTS Kayubih dilakukan dengan memetakan persentase produksi energi dari setiap inverter, kemudian inverter dengan persentase produksi energi tertinggi dipilih sebagai acuan untuk menilai unjuk kerja dari 49 inverter yang lain. Analisis juga memperhatikan letak *string array* yang terhubung dengan inverter serta berdasarkan kondisi di lokasi PLTS terpasang. Diperoleh bahwa produksi energi tertinggi dihasilkan oleh inverter 44-E5 sebesar 17.827 kWh dan terendah adalah inverter 8-D3 sebesar 8.898 kWh. Inverter dengan produksi energi rata-rata tertinggi adalah inverter 44-E5 sebesar 72,47 kWh/hari dan terendah adalah inverter 11-C5 sebesar 39,26 kWh/hari. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan,

dapat disimpulkan bahwa seluruh inverter di PLTS Kayubih, produksi energinya sudah lebih besar atau sama dengan 75 % sesuai keluaran energi optimum *string array* masing-masing, dengan inverter 29-B9 memiliki persentase produksi energi tertinggi.

Kata Kunci— Energi Terbarukan, PLTS *On-grid*, Unjuk Kerja Inverter, Produksi Energi

I. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan suatu sistem yang mampu mengubah sinar matahari menjadi tenaga listrik. Inverter adalah salah satu subsistem penting yang diperlukan untuk mencatu beban AC atau jika PLTS tersebut terhubung dengan jaringan PLN karena inverter mampu mengubah daya DC menjadi daya AC.

Tahun 2025 PLTS diharapkan dapat menyumbang 0,87 GW, dimana beserta energi biomassa, nuklir, air dan angin dapat mencapai target sebesar 5 % dari keseluruhan EBT sebesar 17 % dari kapasitas pembangkitan listrik nasional [1]. Bahwa untuk mencapai hal tersebut diperlukan berbagai upaya antara lain memperluas penggunaan PLTS di masyarakat khususnya masyarakat urban atau di wilayah-wilayah yang sudah terkangkau jaringan distribusi PLN dan tetap menjalankan program-program kelistrikan pada wilayah-wilayah terpencil dengan pemasangan *solar home system* (SHS) [2].

Secara umum bagian utama sebuah inverter adalah semikonduktor daya sebagai sakelar, *DC link bus*, kontroler dan sistem pengaman. Inverter juga dilengkapi rangkaian kontrol PWM, algoritma *phase locked loop* (PLL) serta *phase detector*. Dewasa ini inverter juga sudah dilengkapi fitur untuk merekam data (*data logging*) untuk memantau unjuk kerja operasinya dalam kurun waktu tertentu serta dilengkapi juga fasilitas antarmuka pengguna untuk menampilkan data tegangan, arus, frekuensi serta arus dan tegangan beban. Banyaknya komponen dan fitur tersebut membuat inverter menjadi sebuah sistem yang kompleks namun harus beroperasi pada keadaan lingkungan yang berubah-ubah. Inilah yang menyebabkan inverter harus memiliki tingkat keandalan tinggi. Komponen dengan keandalan yang tinggi dibutuhkan untuk meminimalisir *downtime* inverter dan secara tidak langsung juga meminimalisir biaya pemeliharaan [3], [4]. Banyak penelitian yang telah dilakukan mengenai unjuk kerja inverter seperti yang ditunjukkan [5], [6], [7], [8], [9].

Salah satu PLTS *grid-connected* terbesar di Bali adalah PLTS yang terletak di Desa Kayubih Kabupaten Bangli atau yang disebut PLTS Kayubih. Total daya pembangkitan maksimum PLTS Kayubih adalah 1 MWp. PLTS Kayubih menggunakan *string* inverter dengan kapasitas 20 kW

¹Mahasiswa, Jurusan Teknik Elektro dan Komputer Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jalan Gunung Semeru, No. 10 Denpasar 80118 (Hp: 085935294550; telp: 0361-8473695; e-mail: ngurah.bagus93@yahoo.com)

^{2,3} Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro dan Komputer Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jalan Kampus Bukit Jimbaran 80361 INDONESIA (telp: 0361-703315; fax: 0361-4321)



sebanyak 50 unit. PLTS tersebut berada pada ketinggian ± 870 meter diatas permukaan laut, dengan curah hujan di Kabupaten Bangli 1.947 mm/bulan serta kelembaban 68% dengan suhu 15 °C-30 °C. Jenis tanah di Bangli adalah tanah regosal, sehingga tanaman apa saja bisa tumbuh di daerah ini. Faktor pendukung secara alami ini menopang Bangli memiliki lahan subur yang sangat potensial di sektor pertanian [10].

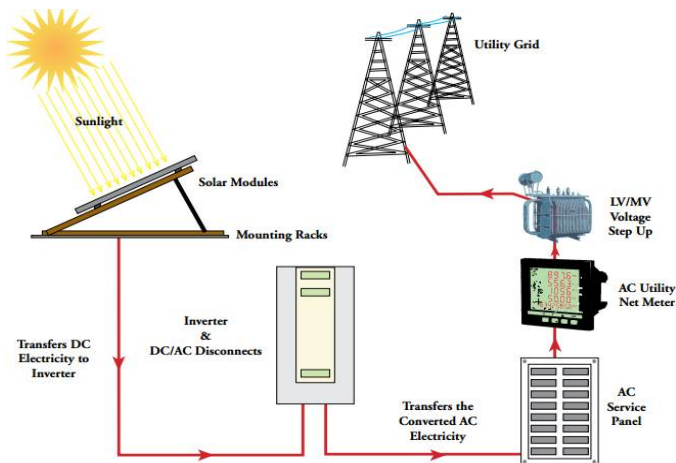
Secara teoritis suhu di PLTS Kayubih mendekati *standard test conditions* (STC), dengan suhu harian 23,8 °C. Namun curah hujan dan hari hujan di sekitar PLTS juga cukup tinggi sehingga dapat berdampak pada produksi energi PLTS. Berdasarkan observasi di lapangan, faktor lain yang dapat berdampak terhadap sistem PLTS adalah bayangan dari rumput dan pepohonan yang tinggi [11].

Penelitian mengenai unjuk kerja inverter PLTS Kayubih dilakukan menggunakan data *record* sistem monitoring tahun 2014. Data *record* sistem monitoring diolah untuk memperoleh produksi energi inverter. Kemudian dilakukan analisis dengan memetakan persentase produksi energi sesuai dengan letak *string array* yang terhubung dengan inverter, menggunakan inverter dengan persentase produksi tertinggi sebagai acuan untuk menilai unjuk kerja inverter lainnya, serta melakukan observasi lapangan. Dengan demikian diharapkan dapat diketahui bagaimana unjuk kerja inverter PLTS Kayubih dari segi produksi energi serta penyebabnya.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. PLTS Grid-connected

Sistem PLTS *on-grid* atau *grid-connected PV system* pada dasarnya menggabungkan PLTS dengan jaringan listrik (PLN). Komponen utama sisten ini adalah *Power Conditioning Unit* (PCU) atau inverter yang berfungsi untuk mengubah daya DC yang dihasilkan PLTS menjadi daya AC yang disesuaikan dengan persyaratan jaringan listrik yang terhubung (*utility grid*). Selain itu juga menghentikan secara otomatis suplai daya ke jaringan listrik ketika *utility grid* tidak mengalirkan daya [12].

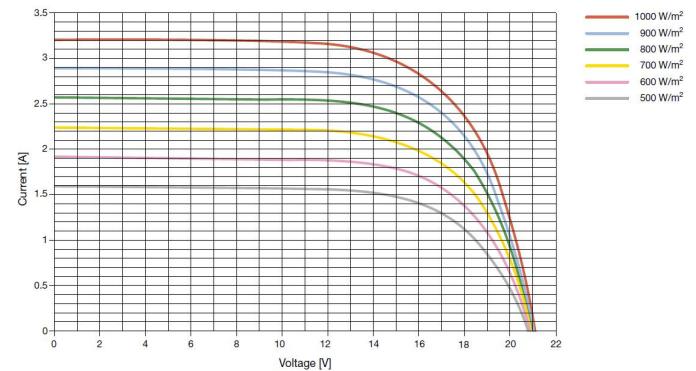


Gambar 1: Diagram sistem PLTS *grid-connected* [13]

B. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Produksi Energi Modul Surya

Faktor-faktor utama yang mempengaruhi produksi energi listrik modul surya adalah sebagai berikut [14]:

1) *Iradiasi*: Pada saat iradiasi menurun, arus yang dihasilkan modul surya akan menurun secara proporsional, sedangkan perubahan tegangan tanpa beban sangat kecil. Kurva karakteristik V-I ditunjukkan pada Gambar 2 yaitu fungsi iradiasi terhadap sel surya yang mempengaruhi arus dan tegangan.



Gambar 2: Iradiasi matahari terhadap arus dan tegangan modul surya [14]

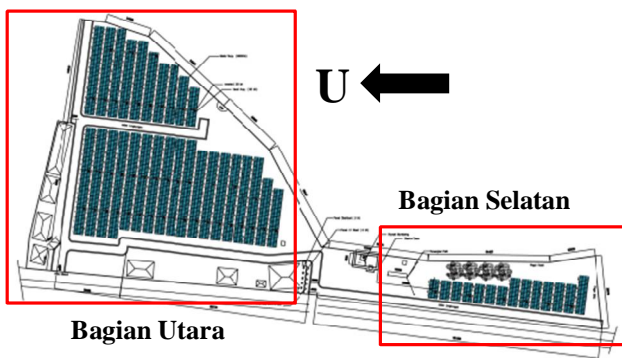
2) *Suhu Modul*: Berkebalikan dengan pengaruh iradiasi, ketika suhu modul meningkat, arus yang dihasilkan praktis tidak berubah, sedangkan tegangan menurun dan dengan demikian kemampuan panel dalam menghasilkan energi listrik juga menurun. Penurunan efisiensi adalah berkisar 0,4 hingga 0,6 untuk setiap peningkatan 1 °C.

3) *Bayangan*: Ketika tertutup oleh bayangan, sambungan P-N di dalam sel surya berhenti memproduksi energi dan menjadi beban pasif. Sel ini berperilaku seperti sebuah diode yang memblokir arus yang diproduksi oleh sel-sel lainnya yang terhubung seri, sehingga membahayakan produksi modul. Selain itu juga dapat menyebabkan panas berlebih dan kerusakan pada modul.

4) *Inklinasi dan Orientasi Panel Surya*: Efisiensi terbesar panel surya tercapai jika sudut datang sinar matahari selalu 90°. Sesungguhnya datangnya sinar matahari bervariasi menurut garis lintang serta deklinasi matahari sepanjang tahun. Karena kemiringan sumbu rotasi bumi sekitar 23,45° terhadap bidang orbit bumi terhadap matahari, tempat terbit dan terbenamnya matahari selalu bervariasi setiap harinya. Matahari berada di posisi sudut 90° terhadap permukaan bumi yaitu pada garis khatulistiwa.

C. PLTS Kayubih

PLTS Kayubih berdiri diatas lahan total seluas kurang lebih 18.450 m², dimana sekitar 8.700 m² bidang lahannya digunakan untuk modul surya/array sebagai penghasil tenaga listrik. Secara astronomis PLTS Kayubih terletak pada koordinat -8,35° lintang selatan (*latitude*) dan 115,36° bujur timur (*longitude*) dan pada ketinggian ± 872 m dpl [15].



Gambar 3: Tampak atas PLTS Kayubih [11] [15]

PLTS Kayubih dengan daya nominal 1 MWp termasuk ke dalam PLTS skala besar [16]. Berdasarkan sistem pemasangannya, PLTS Kayubih merupakan sistem PLTS terpusat (*centralized PV system*) yang terhubung ke jaringan listrik (*grid*) tanpa menggunakan baterai/sistem penyimpanan. PLTS Kayubih menggunakan inverter dengan konfigurasi *string*. Inverter yang digunakan adalah inverter *grid-connected* SUNGROW SG20KTL dengan kapasitas 20 kW sebanyak 50 unit.



Gambar 4: Grid-connected inverter SG20KTL 20 kW

PLTS Kayubih memiliki sistem monitoring yang berfungsi untuk menampilkan data dan informasi dari operasi sistem PLTS, yang sangat diperlukan untuk menganalisis unjuk kerja (*performance ratio*) dan jumlah energi yang diproduksi (harian, bulanan dan tahunan). Peralatan ini dipasang pada rumah monitoring dan digunakan untuk memantau operasi PLTS oleh operator.

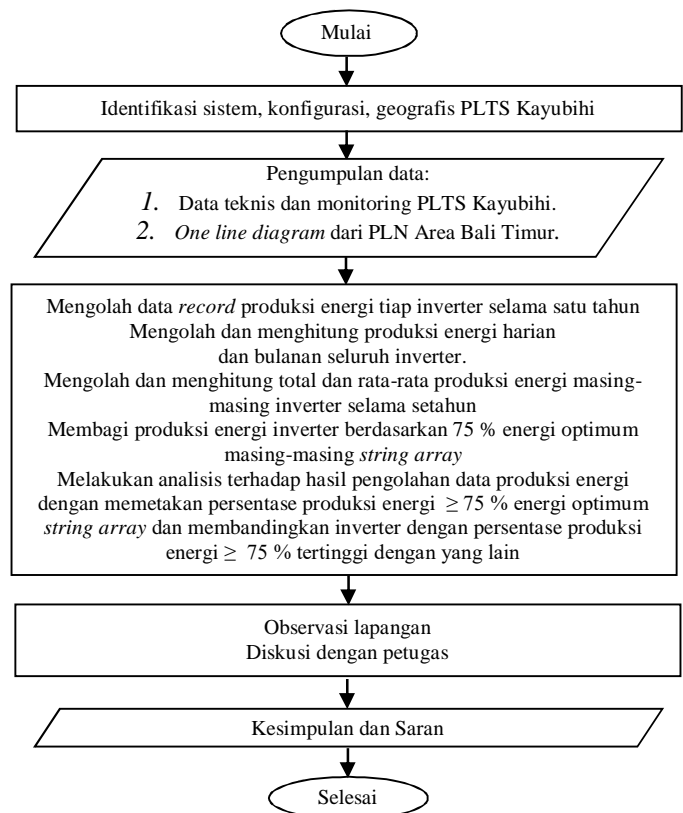
Data yang diperoleh dari sistem monitoring berasal dari hubungan komunikasi komputer terhadap inverter dan peralatan stasiun cuaca atau disebut *environmental monitoring device* yang dipasang pada lokasi PLTS. Peralatan ini dilengkapi dengan sensor kecepatan angin, sensor arah angin, sensor radiasi matahari, sensor suhu lingkungan, sensor suhu modul surya dan kotak kontrol utama.

III. METODE PENELITIAN

Observasi awal PLTS Kayubih untuk mengetahui sistem, konfigurasi, spesifikasi dan geografis lokasi penelitian. Mengumpulkan data *record* dari sistem monitoring PLTS

A. A. Ngurah Bagus Budi Nathawibawa: Analisis Produksi Energi dari ...

Kayubih berupa laporan harian unjuk kerja PLTS, kondisi lingkungan dan energi listrik yang dihasilkan selama satu tahun dengan interval waktu 15 menit. Mengolah data *record* produksi energi dari sistem monitoring PLTS Kayubih untuk menghitung produksi energi harian dan bulanan seluruh inverter serta total dan rata-rata produksi energi masing-masing inverter. Data produksi energi juga diolah untuk mendapatkan produksi energi berdasarkan 75 % energi optimum masing-masing *string array*. Kemudian, melakukan analisis terhadap hasil pengolahan data produksi energi dengan memetakan letak inverter beserta persentase ≥ 75 % energi optimum *string array* serta membandingkan persentase produksi energi ≥ 75 % yang tertinggi dengan yang lain disertai observasi lapangan untuk memperkuat hasil analisis.



Gambar 5: Flowchart penelitian

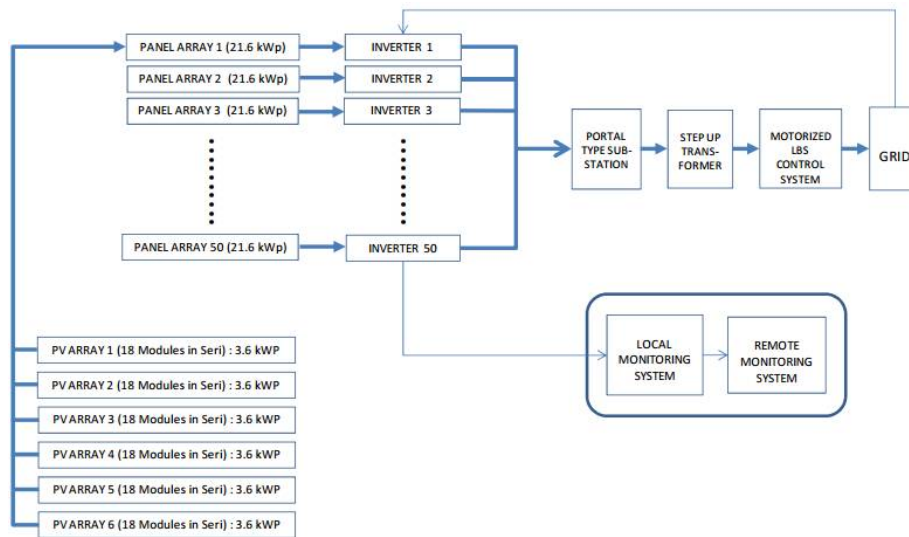
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Spesifikasi Teknis PLTS Kayubih

Berdasarkan observasi yang dilakukan [11], [15], PLTS Kayubih memiliki 278 *string array*, dimana setiap *array* terdiri dari 18 buah modul surya yang dirangkai secara seri dengan susunan 3 baris dan 6 kolom. Inverter berjumlah 50 unit dimana sebanyak 22 inverter terhubung dengan 5 *string array* ($P_m \text{ STC} = 17.839,8 \text{ W}$) dan 28 inverter terhubung dengan 6 *string array* ($P_m \text{ STC} = 21.407,76 \text{ W}$). Seluruh daya listrik yang dibangkitkan PLTS Kayubih disalurkan ke Jaringan Tegangan Menengah (JTM) PLN 20 kV melalui 5 blok panel distribusi grup inverter dan 5 unit transformator *step-up*. Setiap transformator dihubungkan dengan satu grup inverter yang terdiri dari 10 unit *string inverter*. Sistem

p-ISSN:1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372





Gambar 6: Konfigurasi PLTS Kayubih [11]

tegangan PLTS Kayubih dibagi menjadi 3 sisi yaitu pada sisi pembangkitan/array tegangan nominal adalah 650 Vdc hingga maksimum 1.000 Vdc, kemudian dikonversikan menjadi tegangan bolak-balik oleh *string* inverter dengan nominal tegangan 230/400 Vac, selanjutnya tegangan ini dinaikkan melalui transformator *step up* menjadi tegangan nominal 20 kV, sesuai dengan tegangan nominal JTM PLN. Orientasi modul surya PLTS Kayubih menghadap ke utara azimuth 0° , dengan kemiringan panel 15° dan menggunakan penyangga tipe tetap.

B. Produksi Energi Inverter PLTS Kayubih

Analisis produksi energi inverter PLTS Kayubih dilakukan dengan mengolah data *record* produksi energi seluruh inverter dari sistem monitoring PLTS Kayubih. Hasil pengolahan data ditampilkan pada Tabel I (Lampiran) yaitu mengenai total produksi energi seluruh inverter selama satu tahun. Identitas inverter yang tercetak miring pada Tabel I menandakan inverter tersebut terhubung dengan 6 *string array*, sedangkan yang tercetak tegak terhubung dengan 5 *string array*.

Tabel I menunjukkan produksi energi inverter selama satu tahun. Total produksi energi tertinggi adalah inverter 44-E5 sebesar 17.827 kWh dan produksi energi terendah adalah inverter 8-D3 sebesar 8.898 kWh. Produksi energi inverter 44-E5 tertinggi, disebabkan oleh jumlah *array* yang terhubung sebanyak 6 *string array* sehingga produksi energi secara ideal lebih besar dibandingkan 5 *string array* serta didukung pula oleh letak modul atau *string array* yang cukup mendapat paparan sinar matahari. Inverter 1-D5 hingga 10-D1 (grup D) diketahui *empty record* sejak tanggal 13 Agustus 2014, sehingga bulan September hingga Desember tidak ada produksi energi.

Data *record* sistem monitoring juga diolah untuk mendapatkan rata-rata produksi energi harian seluruh inverter selama setahun dan ditampilkan pada Tabel II (Lampiran). Identitas inverter yang tercetak miring pada Tabel II menandakan inverter tersebut terhubung dengan 6 *string array*,

sedangkan yang tercetak tegak terhubung dengan 5 *string array*.

Jika dilihat berdasarkan rata-rata produksi energi harian seperti yang ditunjukkan pada Tabel II, selama satu tahun rata-rata produksi energi inverter 44-E5 adalah yang tertinggi yaitu sebesar 72,47 kWh/hari, sedangkan rata-rata produksi energi inverter terendah adalah inverter 11-C5 sebesar 39,26 kWh/hari. Data tersebut menunjukkan bahwa *string array* yang terhubung dengan inverter 44-E5 konsisten mendapat paparan sinar matahari lebih tinggi dibanding yang lain serta didukung pula oleh jumlah *string array* yang lebih banyak (6 *string array*), sehingga produksi energi tahunan inverter 44-E5 juga menjadi yang tertinggi seperti ditunjukkan pada Tabel I.

Tabel I dan II menunjukkan bahwa total dan rata-rata produksi energi inverter 11-C5 adalah yang terendah diluar inverter grup D (inverter 1-D5 hingga 10-D1) yang *empty record*. Setelah dilakukan analisis berdasarkan data *record* produksi energi dari sistem monitoring, diketahui bahwa produksi energi inverter 11-C5 menurun sejak tanggal 22 Februari 2014 seperti yang ditunjukkan pada Tabel III.

TABEL III
PENURUNAN PRODUKSI ENERGI INVERTER 11-C5

Rata-rata Produksi Energi INV 11-C5	
< 22 Februari 2014	61,11 kWh/hari
≥ 22 Februari 2014	34,50 kWh/hari

Analisis lebih lanjut dilakukan terhadap inverter 11-C5 dari segi daya puncak. Diketahui bahwa berdasarkan data *record* daya puncak sistem monitoring, penurunan produksi energi disebabkan penurunan daya puncak DC seperti yang ditunjukkan pada Tabel IV, sehingga penurunan produksi energi disebabkan karena daya masukan yang menurun, bukan gangguan pada inverter. Penurunan daya masukan ini dapat disebabkan oleh kerusakan pada modul surya atau instalasi yang kurang baik.

TABEL IV
PENURUNAN DAYA PUNCAK DC INVERTER 11-C5

Tanggal	Daya Puncak DC (kW)	Rata-rata (kW)
15-Feb-14	21,78	24,49
16-Feb-14	22,43	
17-Feb-14	25,62	
18-Feb-14	23,99	
19-Feb-14	20,50	
20-Feb-14	28,18	
21-Feb-14	28,96	
22-Feb-14	11,20	11,18
23-Feb-14	17,14	
24-Feb-14	13,22	
25-Feb-14	13,67	
26-Feb-14	7,96	
27-Feb-14	11,19	
28-Feb-14	3,87	

Kemudian dilakukan juga analisis dari segi efisiensi inverter 11-C5. Data yang diambil untuk mendapatkan efisiensi diperoleh dari "running information records" yang tersimpan dalam jangka waktu 30 hari di data logger inverter. Pengambilan data dilakukan 3 kali sehari selama 7 hari dan kemudian dihitung efisiensinya. Analisis ini dilakukan untuk melihat apakah inverter mengalami penurunan dari segi efisiensi sehingga jumlah energi yang dikonversi juga menurun. Setelah dilakukan analisis diketahui bahwa rata-rata efisiensi inverter 11-C5 adalah 97,98 % dan mendekati efisiensi spesifikasi teknis inverter SG20KTL sebesar 98 %. Hasil ini menunjukkan bahwa kemampuan inverter 11-C5 dalam mengkonversi daya DC menjadi AC masih mendekati standard yang ditentukan produsen.

TABEL V
EFISIENSI INVERTER 11-C5

Tanggal	Waktu	Pdc1 (W)	Pdc2 (W)	Pac (W)	Effisiensi (%)
16-Apr-16	09.00	2233	2171	4315	97,98
	12.00	5116	5115	10026	98,00
	15.00	216	216	423	97,92
17-Apr-16	09.00	2065	2003	3986	97,98
	12.00	4687	4684	9183	97,99
	15.00	753	754	1476	97,94
18-Apr-16	09.00	2269	2208	4387	97,99
	12.00	5220	5218	10229	98,00
	15.00	2044	1983	3946	97,99
19-Apr-16	09.00	2396	2334	4635	97,99
	12.00	4563	4560	8940	97,99
	15.00	1733	1736	3399	97,98
20-Apr-16	09.00	2351	2288	4546	98,00
	12.00	417	417	817	97,96
	15.00	355	355	695	97,89
21-Apr-16	09.00	1207	1208	2366	97,97
	12.00	2744	2742	5376	97,99
	15.00	3488	3486	6834	97,99
22-Apr-16	09.00	2280	2220	4409	97,98
	12.00	5080	5080	9956	97,99
	15.00	1472	1413	2827	97,99
Rata-rata (%)					97,98

Inverter tidak terhubung dengan string array yang sama (5 atau 6 string array), sehingga energi yang dihasilkan juga tidak sama. Maka dari itu dilakukan perhitungan untuk melihat bagaimana produksi energi masing-masing inverter berdasarkan jumlah string array. Perhitungan produksi energi dilakukan berdasarkan 75 % daya puncak dari 5 dan 6 string

array dikali dengan peak sun hours PLTS Kayubih. Referensi [15] menunjukkan bahwa peak sun hours di PLTS Kayubih rata-rata sebesar 3,202 jam/hari. Sehingga perhitungan produksi energi berdasarkan 75 % energi optimum string array adalah sebagai berikut:

$$P_{mSTC} \text{ 5 string array} = 17,8398 \text{ kW}$$

$$\text{Sehingga 75 \% dari 17,8398 kW} = 13,37985 \text{ kW}$$

Maka, produksi energi dari 75 % daya puncak 5 string array:

$$13,37985 \text{ kW} \times 3,202 \text{ jam} = 42,84 \text{ kWh}$$

$$P_{mSTC} \text{ 6 string array} = 21,40776 \text{ kW}$$

$$\text{Sehingga 75 \% dari 21,40776 kW} = 16,05582 \text{ kW}$$

Maka, produksi energi dari 75 % daya puncak 6 string array :

$$16,05582 \text{ kW} \times 3,202 \text{ jam} = 51,41 \text{ kWh}$$

Hasil perhitungan diatas kemudian diaplikasikan ke dalam seluruh data record produksi energi inverter, sehingga diketahui apakah produksi energi ≥ 75 % dari energi optimum masing-masing string array atau tidak. Kemudian, untuk mengetahui berapa banyak produksi energi yang sudah ≥ 75 % dari energi optimum masing-masing string array, hasil tersebut dirata-ratakan selama satu tahun, sehingga dapat disusun Tabel VI dan VII.

TABEL VI
PERSENTASE PRODUKSI ENERGI INVERTER TAHUN 2014
BERDASARKAN 75 % ENERGI OPTIMUM 6 STRING ARRAY

Inverter	Persentase Produksi Energi < 51,41 kWh	Persentase Produksi Energi $\geq 51,41$ kWh
INV 1-D5	40,46	59,54
INV 2-D6	23,92	76,08
INV 3-D7	23,08	76,92
INV 4-D8	29,32	70,68
INV 5-D9	30,32	69,68
INV 6-D10	31,99	68,01
INV 7-D4	30,32	69,68
INV 8-D3	57,10	42,90
INV 9-D2	30,75	69,25
INV 10-D1	19,37	80,63
INV 11-C5	82,12	17,88
INV 12-C4	23,07	76,93
INV 13-C2	22,66	77,34
INV 14-C1	20,07	79,93
INV 15-A10	23,27	76,73
INV 21-A4	24,65	75,35
INV 22-A3	20,76	79,24
INV 23-A2	27,19	72,81
INV 24-A1	27,71	72,29
INV 25-C7	34,42	65,58
INV 26-C6	21,92	78,08
INV 27-C3	28,81	71,19
INV 38-C8	31,25	68,75
INV 39-C9	21,69	78,31
INV 40-E1	23,72	76,28
INV 41-C10	21,01	78,99
INV 42-E4	20,49	79,51
INV 44-E5	20,34	79,66

Berdasarkan Tabel VI dapat dilihat bahwa inverter dengan 6 string array dalam satu tahun mampu menghasilkan energi ≥ 75 % dari energi optimum 6 string array atau $\geq 51,41$ kWh. Produksi energi tertinggi adalah inverter 10-D1 yang



menghasilkan energi $\geq 51,41$ kWh rata-rata sebesar 80,63 % sedangkan yang terendah adalah inverter 11-C5 dengan rata-rata sebesar 17,88 % selama tahun 2014. Seperti sudah dijelaskan sebelumnya bahwa inverter 11-C5 sudah mengalami penurunan daya puncak dan produksi energi sejak 22 Februari 2014.

TABEL VII
PERSENTASE PRODUKSI ENERGI INVERTER TAHUN 2014
BERDASARKAN 75 % ENERGI OPTIMUM 5 STRING ARRAY

Inverter	Persentase Produksi Energi < 42,84 kWh	Persentase Produksi Energi $\geq 42,84$ kWh
INV 16-A9	20,22	79,78
INV 17-A8	24,61	75,39
INV 18-A7	26,10	73,90
INV 19-A6	18,27	81,73
INV 20-A5	20,29	79,71
INV 28-B10	19,80	80,20
INV 29-B9	16,79	83,21
INV 30-B8	18,25	81,75
INV 31-B7	17,92	82,08
INV 32-B6	29,09	70,91
INV 33-B5	21,03	78,97
INV 34-B4	19,80	80,20
INV 35-B3	24,65	75,35
INV 36-B2	20,49	79,51
INV 37-B1	29,64	70,36
INV 43-E2	18,72	81,28
INV 45-E6	20,73	79,27
INV 46-E3	31,59	68,41
INV 47-E7	22,56	77,44
INV 48-E8	28,82	71,18
INV 49-E9	21,54	78,46
INV 50-E10	20,19	79,81

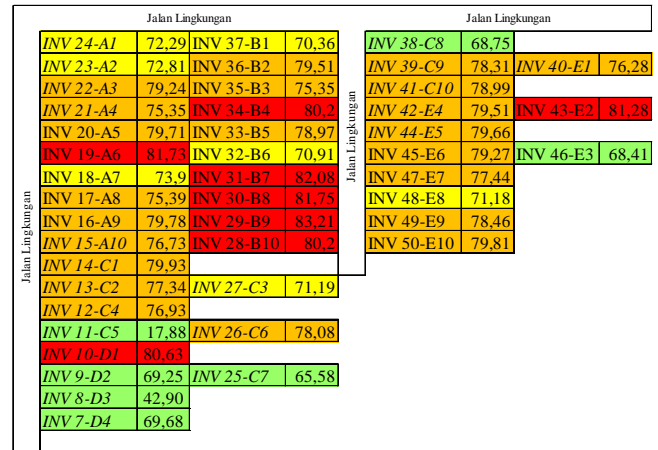
Kemudian, untuk Tabel VII menunjukkan inverter dengan 5 string array juga sudah mampu memproduksi energi ≥ 75 % dari energi optimum 5 string array atau $\geq 42,84$ kWh. Persentase tertinggi adalah inverter 29-B9 sebesar 83,21 % sedangkan persentase terendah adalah inverter 46-E3 sebesar 68,41 %. Selisih produksi energi dapat diakibatkan oleh luasnya area modul surya di PLTS Kayubihii terutama di bagian utara karena inverter dengan 5 string array hanya terdapat di PLTS bagian utara. Untuk lebih jelasnya, dilakukan analisis dengan cara pemetaan inverter sesuai dengan jumlah string array yang terhubung serta letaknya di lapangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.

Gambar 7 menunjukkan dengan jelas bagaimana letak string array yang terhubung dengan inverter, sangat mempengaruhi produksi energi. Nilai yang ditunjukkan pada Gambar 7 sesuai dengan nilai pada Tabel VI dan VII. Nilai tersebut secara adil menunjukkan persentase produksi energi sesuai dengan 75 % energi optimum masing-masing string array, bukan berdasarkan jumlah produksi energi yang tentunya dapat berbeda karena string array yang terhubung juga tidak sama.

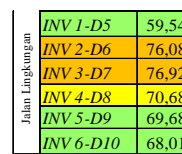
Dapat dilihat pada Gambar 7 bahwa PLTS Kayubihii bagian selatan, persentase produksi energi tertinggi adalah sebesar 76,92 % (persentase produksi energi yang berada ≥ 75 % energi optimum string array) yaitu inverter 3-D7, dan terus menurun hingga inverter 6-D10 yang terletak paling selatan. Inverter dengan persentase produksi energi paling rendah adalah inverter 1-D5 sebesar 59,54 %. Sedangkan pada

PLTS Kayubihii bagian utara, persentase produksi energi tertinggi adalah inverter 29-B9 dimana sebanyak 83,21 % energinya berada ≥ 75 % dari energi optimum string array. Hal ini menarik karena string array inverter 29-B9 lebih sedikit dibandingkan inverter 1-D5 yang terhubung dengan 6 string array. Ini menunjukkan bahwa posisi string array yang terhubung dengan inverter 29-B9 lebih baik sehingga mendapat paparan sinar matahari yang lebih banyak dibandingkan dengan string array yang terhubung inverter 1-D5.

Bagian Utara



Bagian Selatan



Keterangan:

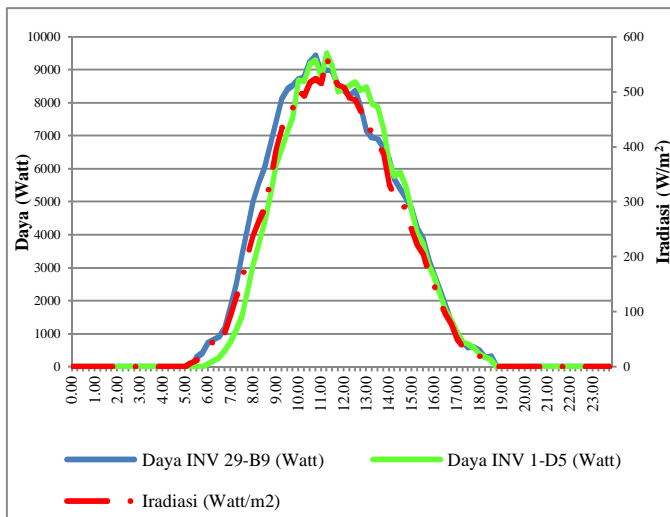
- Cetak miring = inverter dengan 6 string array
- Cetak tegak = inverter dengan 5 string array
- Persentase produksi energi ≥ 80 %
- ≥ 75 % Persentase produksi energi < 80 %
- ≥ 70 % Persentase produksi energi < 75 %
- Persentase produksi energi < 70 %

Gambar 7: Letak inverter beserta persentase produksi energi

Analisis kemudian dilakukan untuk melihat bagaimana daya harian inverter 29-B9 dan 1-D5 sehingga produksi energinya menjadi berbeda. Analisis dilakukan dengan melihat daya harian inverter 29-B9 sebagai inverter dengan persentase produksi energi ≥ 75 % tertinggi di bagian utara dan inverter 1-D5 sebagai inverter dengan persentase produksi energi ≥ 75 % terendah di bagian selatan. Daya harian yang ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 8 diperoleh dari rata-rata daya harian selama satu tahun dengan interval 15 menit sesuai data awal yang sudah diperoleh.

Gambar 8 menunjukkan bahwa daya harian inverter 29-B9 sebelum jam 12.00 lebih baik dibanding inverter 1-D5. Ini berarti bahwa di pagi hari posisi string array inverter 29-B9 lebih awal terpapar sinar matahari, ini juga berdampak pada produksi energi yang lebih besar. Walaupun pada pukul 12.00 hingga 14.00 dan pukul 14.15 hingga pukul 15.00 daya harian inverter 1-D5 diatas inverter 29-B9, namun tidak cukup mengurangi selisih yang terjadi pada pagi hari. Setelah pukul 15.00, daya harian kedua inverter cukup berhimpit atau hampir sama. Dengan demikian string array inverter 29-B9

lebih banyak mendapat paparan sinar matahari dibandingkan dengan *string array* di inverter 1-D5 terutama di pagi hari.



Gambar 8: Grafik daya harian inverter 29-B9 dan 1-D5

Kemudian dilakukan observasi di lapangan terkait dengan hasil analisis sebelumnya. Berdasarkan kondisi di lapangan pada saat penelitian dilakukan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9 dan 10, PLTS Kayubih bagian selatan areanya sempit, kemudian disebelah timur terdapat semak belukar serta pepohonan yang tinggi dan disebelah barat terdapat pohon perindang jalan sehingga dapat menyebabkan iradiasi kurang optimal karena tertutupi oleh bayangan pepohonan, dibandingkan dengan PLTS Kayubih bagian utara. Mengingat bahwa Kabupaten Bangli memiliki iklim yang sejuk serta tanah yang subur sehingga tumbuhan dengan mudah tumbuh subur begitu pula di dalam area PLTS Kayubih. Hal ini sesuai dengan hasil analisis pada Gambar 8, dimana daya harian inverter 1-D5 pada pagi hari lebih lambat terpapar sinar matahari karena di sebelah timur *string array* terdapat semak belukar dan pepohonan yang cukup tinggi sehingga menghalangi sinar matahari.



Gambar 9: Semak belukar dan pepohonan di sekitar PLTS Kayubih bagian selatan



Gambar 10: Pohon perindang jalan di sisi barat bagian selatan

Pada PLTS Kayubih bagian utara, persentase produksi energi lebih baik, disebabkan oleh area yang lebih luas dan lebih terbuka, sehingga iradiasi matahari lebih optimal terutama pada bagian tengah yang ditempati inverter 29-B9 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 serta hasil analisis pada Gambar 8. Namun, produksi energi inverter di bagian utara PLTS juga bervariasi, karena luasnya area sehingga suatu waktu beberapa bagian PLTS dapat tertutupi oleh awan.

Secara keseluruhan, produksi energi inverter di PLTS Kayubih sudah $\geq 75\%$ dari energi optimum *string array* masing-masing. Ini menunjukkan bahwa modul surya di PLTS Kayubih sudah mendapat paparan iradiasi matahari yang cukup untuk menghasilkan energi $\geq 75\%$ dari energi optimum *string array* masing-masing. Hanya saja PLTS Kayubih bagian selatan perlu mendapat perhatian lebih karena *string array* tertutup oleh bayangan semak belukar dan pepohonan pada saat penelitian dilakukan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data *record* sistem monitoring dari segi produksi energi, serta observasi di lapangan, maka diperoleh hasil bahwa produksi energi tertinggi selama satu tahun adalah inverter 44-E5 sebesar 17.827 kWh dan terendah adalah inverter 8-D3 sebesar 8.898 kWh. Produksi energi rata-rata inverter tertinggi adalah inverter 44-E5 sebesar 72,47 kWh/hari dan terendah adalah inverter 11-C5 sebesar 39,26 kWh/hari.

Setelah dilakukan analisis berdasarkan daya puncak masing-masing *string array* serta *peak sun hours* di PLTS Kayubih, seluruh inverter di PLTS Kayubih menghasilkan rata-rata energi $\geq 75\%$ dari energi optimum masing-masing *string array*, yaitu $\geq 42,84$ kWh untuk 5 *string array* dan $\geq 51,41$ kWh untuk 6 *string array*. Inverter 29-B9 adalah inverter dengan persentase produksi energi $\geq 75\%$ energi optimum *string array* yang tertinggi sebesar 83,21%.

Analisis yang telah dilakukan menunjukkan bahwa produksi energi inverter di PLTS Kayubih dipengaruhi oleh letak modul surya yang terhubung dengan tiap-tiap inverter. Modul surya di bagian selatan PLTS persentase produksi



energi tertingginya lebih rendah dibandingkan dengan persentase produksi energi tertinggi di bagian utara. Observasi di lapangan menunjukkan keadaan di sekitar modul surya yang berada di PLTS Kayubih bagian selatan, terdapat semak belukar serta pepohonan di sisi sebelah timur dan terdapat pohon perindang jalan di sisi sebelah barat, sehingga modul surya dapat tertutupi oleh bayangan pepohonan disekitarnya.

REFERENSI

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. *Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2006-2025*. Jakarta: Kementerian ESDM. 2006.
- [2] N. S. Kumara "Pembangkit listrik tenaga surya skala rumah tangga urban dan ketersediaannya di Indonesia". *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*. Vol. 9 No. 1. 2010.
- [3] L. M. Moore, and H. N. Post. "Five years of operating experience at a large, utility-scale photovoltaic generating plant". *Journal of Prog. Photovoltaic*. Volume 16 No. 3: 249-259. 2008.
- [4] S. Yang, D. Xiang, A. Briant, P. Mawby, L. Ran and P. Tavner. "Condition monitoring for device reliability in power electronic converters: a review". *IEEE Transactions on Power Electronics*. Volume 25: 2734-2752. 2010.
- [5] Z. J. Ma and S. Thomas. "Reliability and maintainability in photovoltaic inverter design". *IEEE Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)*. 10.1109/RAMS.2011.5754523. 2011.
- [6] K. Chumpolrat, V. Sangsuwan, N. Udomdachanut, S. Kittisontirak, S. Songtra, P. Chinnavornrungrsee, A. Limmanee, J. Sriharathikhun, and K. Sriprapha. "Effect of ambient temperature on performance of grid-connected inverter installed in Thailand". *International Journal of Photoenergy*. Vol 2014. 2014.
- [7] R. Kaplar, R. Brock, S. DasGupta, M. Marinella, A. Starbuck, A. Fresquez, S. Gonzalez, J. Granata, M. Quintana, M. Smith and S. Atcity. "PV inverter performance and reliability: What is the role of the IGBT?". *IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC) 37th*. 1842 - 1847. 2011.
- [8] J. D. Flicker, R. Kaplar, M. Marinella, and J. Granata. "PV inverter performance and reliability: What is the role of the bus capacitor?". *IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*. Volume 2: 1-3. 2012.
- [9] I N. S. Kumara, M. Ashari, A. S. Sampeallo, A. A. G. A Pawitra, (In Press). "Simulated Energy Production and Performance Ratio of 5 MW Grid-connected Photovoltaic under Tropical Savannah Climate in Kupang Timor Island of Indonesia". *International Journal of Engineering and Technology Innovation*.
- [10] BPS Bangli. *Statistik Daerah Kabupaten Bangli 2015*. Bangli: BPS Bangli. 2015.
- [11] I N. S. Kumara, W.G. Ariastina, I W. Sukerayasa and I. A. D. Giriantari. "1 MWp grid connected PV systems in the Village of Kayubih Bali; review on location's characteristics and its technical specifications". *International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE) 2013*. 10.1109/ICITEED.2013.6676258. 2013.
- [12] (2011) Florida Solar Energy Center website. [Online] Available: http://www.fsec.ucf.edu/en/consumer/solar_electricity/basics/types_of_pv.htm.
- [13] A. Miller and B. Lumby. *Utility Scale Solar Power Plants A Guide For Developers and Investors*. India: International Finance Corporation (IFC). 2012.
- [14] ABB. *Technical Application Papers No. 10 Photovoltaic Plants*. Bergamo, Italy: ABB SACE. 2010.
- [15] I K. A. Setiawan, I N. S. Kumara, and I W. Sukerayasa. "Analisa unjuk kerja pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) 1 MWp terinterkoneksi jaringan di Kayubih Bangli". *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*. Vol 13 No. 1. 2014.
- [16] *Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic (PV) Systems*, IEEE Std. 929-2000.

LAMPIRAN

TABEL I
TOTAL PRODUKSI ENERGI MASING-MASING INVERTER

Inverter	SUM Energi (kWh)												Total Energi (kWh)
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des	
INV 1-D5	1757	1080	1440	848	1743	1613	1261	663					10405
INV 2-D6	1934	1226	1662	943	1896	1848	1607	833					11949
INV 3-D7	1900	1203	1670	992	1887	1865	1618	881					12016
INV 4-D8	1796	1140	1612	947	1778	1731	1501	813					11318
INV 5-D9	1771	1123	1614	948	1726	1695	1468	781					11126
INV 6-D10	1761	1130	1596	921	1683	1654	1454	758					10957
INV 7-D4	1822	1181	1685	970	1785	1715	1477	814					11449
INV 8-D3	1418	1008	1257	922	1477	1342	1071	403					8898
INV 9-D2	1758	1147	1651	947	1754	1702	1472	811					11242
INV 10-D1	1970	1277	1794	1039	1926	1914	1691	908					12519
INV 11-C5	1886	993	854	493	918	906	792	545	876	821	77	498	9659
INV 12-C4	1926	1245	1774	1018	1890	1867	1634	1122	1814	1715	160	1004	17169
INV 13-C2	1933	1250	1767	1025	1894	1877	1654	1127	1796	1711	162	1012	17208
INV 14-C1	1963	1264	1787	1032	1914	1897	1675	1143	1839	1683	166	1059	17422
INV 15-A10	1917	1234	1763	1019	1889	1882	1655	1123	1791	1642	161	1018	17094
INV 16-A9	1599	1034	1465	848	1582	1584	1393	937	1487	1369	135	854	14287
INV 17-A8	1540	998	1426	826	1552	1540	1356	917	1474	1412	132	833	14006
INV 18-A7	1538	998	1427	820	1536	1521	1334	904	1460	1395	132	836	13901
INV 19-A6	1639	1065	1503	874	1616	1617	1432	971	1549	1477	139	890	14772
INV 20-A5	1592	1034	1480	855	1574	1546	1350	930	1522	1447	135	860	14325
INV 21-A4	1897	1224	1758	1013	1898	1870	1630	1111	1782	1631	160	1015	16989
INV 22-A3	1922	1241	1772	1024	1886	1862	1638	1122	1801	1644	162	1039	17113
INV 23-A2	1885	1215	1738	1000	1865	1841	1605	1088	1719	1562	156	992	16666
INV 24-A1	1865	1207	1730	999	1843	1828	1599	1081	1718	1554	153	984	16561
INV 25-C7	1962	1256	1754	1009	1866	1758	1445	961	1701	1590	144	821	16267
INV 26-C6	1994	1283	1813	1048	1956	1892	1568	1020	1865	1727	168	1014	17348
INV 27-C3	1867	1210	1741	1003	1876	1831	1598	1095	1775	1662	158	968	16784
INV 28-B10	1643	1065	1505	867	1614	1605	1405	957	1561	1429	140	868	14659
INV 29-B9	1675	1083	1517	875	1641	1643	1440	965	1570	1483	142	913	14947
INV 30-B8	1655	1071	1515	876	1625	1633	1440	956	1586	1516	140	851	14864
INV 31-B7	1673	1084	1526	885	1654	1646	1447	989	1602	1462	141	887	14996
INV 32-B6	1500	979	1408	812	1519	1487	1282	884	1477	1347	126	779	13600
INV 33-B5	1606	1042	1490	857	1557	1518	1346	933	1570	1433	136	861	14349
INV 34-B4	1645	1068	1510	875	1632	1587	1401	959	1566	1420	140	887	14690
INV 35-B3	1562	1018	1461	843	1570	1547	1360	933	1517	1374	132	836	14153
INV 36-B2	1608	1046	1486	856	1588	1571	1367	920	1533	1394	135	855	14359
INV 37-B1	1516	991	1433	820	1500	1461	1258	857	1450	1320	126	778	13510
INV 38-C8	1865	1222	1775	1010	1755	1665	1430	977	1843	1672	156	963	16333
INV 39-C9	1933	1269	1807	1041	1912	1815	1561	1078	1882	1714	165	1036	17213
INV 40-E1	1969	1263	1753	1005	1814	1743	1547	1086	1850	1690	162	1035	16917
INV 41-C10	1932	1250	1792	1031	1942	1910	1624	1088	1880	1717	163	1034	17363
INV 42-E4	1943	1261	1793	1031	1940	1902	1680	1143	1895	1724	166	1038	17516
INV 43-E2	1644	1079	1504	876	1613	1611	1431	980	1604	1452	139	881	14814
INV 44-E5	2009	1301	1834	1055	1978	1904	1636	1129	1943	1778	172	1088	17827
INV 45-E6	1663	1080	1528	881	1619	1593	1332	901	1617	1483	134	858	14689
INV 46-E3	1555	1011	1350	754	1397	1469	1293	882	1507	1373	126	801	13518
INV 47-E7	1642	1062	1498	881	1630	1585	1412	964	1590	1423	131	839	14657
INV 48-E8	1587	1010	1336	775	1466	1479	1265	854	1486	1380	133	836	13607
INV 49-E9	1696	1097	1502	849	1494	1462	1281	862	1603	1480	145	914	14385
INV 50-E10	1641	1063	1480	855	1578	1564	1362	932	1559	1417	136	846	14433



TABEL II
RATA-RATA PRODUKSI ENERGI MASING-MASING INVERTER

Inverter	Rata-rata Produksi Energi Harian (kWh)												Rata-rata Setahun (kWh)*
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des	
INV 1-D5	56,68	54,00	72,00	56,53	75,78	53,77	40,68	55,25					57,17
INV 2-D6	62,39	61,30	83,10	62,87	82,43	61,60	51,84	69,42					65,65
INV 3-D7	61,29	60,15	83,50	66,13	82,04	62,17	52,19	73,42					66,02
INV 4-D8	57,94	57,00	80,60	63,13	77,30	57,70	48,42	67,75					62,19
INV 5-D9	57,13	56,15	80,70	63,20	75,04	56,50	47,35	65,08					61,13
INV 6-D10	56,81	56,50	79,80	61,40	73,17	55,13	46,90	63,17					60,20
INV 7-D4	58,77	59,05	84,25	64,67	77,61	57,17	47,65	67,83					62,91
INV 8-D3	45,74	50,40	62,85	61,47	64,22	44,73	34,55	33,58					48,89
INV 9-D2	56,71	57,35	82,55	63,13	76,26	56,73	47,48	67,58					61,77
INV 10-D1	63,55	63,85	89,70	69,27	83,74	63,80	54,55	75,67					68,79
INV 11-C5	60,84	49,65	42,70	32,87	39,91	30,20	25,55	34,06	48,67	45,61	25,67	23,71	39,26
INV 12-C4	62,13	62,25	88,70	67,87	82,17	62,23	52,71	70,13	100,78	95,28	53,33	47,81	69,79
INV 13-C2	62,35	62,50	88,35	68,33	82,35	62,57	53,35	70,44	99,78	95,06	54,00	48,19	69,95
INV 14-C1	63,32	63,20	89,35	68,80	83,22	63,23	54,03	71,44	102,17	93,50	55,33	50,43	70,82
INV 15-A10	61,84	61,70	88,15	67,93	82,13	62,73	53,39	70,19	99,50	91,22	53,67	48,48	69,49
INV 16-A9	51,58	51,70	73,25	56,53	68,78	52,80	44,94	58,56	82,61	76,06	45,00	40,67	58,08
INV 17-A8	49,68	49,90	71,30	55,07	67,48	51,33	43,74	57,31	81,89	78,44	44,00	39,67	56,93
INV 18-A7	49,61	49,90	71,35	54,67	66,78	50,70	43,03	56,50	81,11	77,50	44,00	39,81	56,51
INV 19-A6	52,87	53,25	75,15	58,27	70,26	53,90	46,19	60,69	86,06	82,06	46,33	42,38	60,05
INV 20-A5	51,35	51,70	74,00	57,00	68,43	51,53	43,55	58,13	84,56	80,39	45,00	40,95	58,23
INV 21-A4	61,19	61,20	87,90	67,53	82,52	62,33	52,58	69,44	99,00	90,61	53,33	48,33	69,06
INV 22-A3	62,00	62,05	88,60	68,27	82,00	62,07	52,84	70,13	100,06	91,33	54,00	49,48	69,57
INV 23-A2	60,81	60,75	86,90	66,67	81,09	61,37	51,77	68,00	95,50	86,78	52,00	47,24	67,75
INV 24-A1	60,16	60,35	86,50	66,60	80,13	60,93	51,58	67,56	95,44	86,33	51,00	46,86	67,32
INV 25-C7	63,29	62,80	87,70	67,27	81,13	58,60	46,61	60,06	94,50	88,33	48,00	39,10	66,13
INV 26-C6	64,32	64,15	90,65	69,87	85,04	63,07	50,58	63,75	103,61	95,94	56,00	48,29	70,52
INV 27-C3	60,23	60,50	87,05	66,87	81,57	61,03	51,55	68,44	98,61	92,33	52,67	46,10	68,23
INV 28-B10	53,00	53,25	75,25	57,80	70,17	53,50	45,32	59,81	86,72	79,39	46,67	41,33	59,59
INV 29-B9	54,03	54,15	75,85	58,33	71,35	54,77	46,45	60,31	87,22	82,39	47,33	43,48	60,76
INV 30-B8	53,39	53,55	75,75	58,40	70,65	54,43	46,45	59,75	88,11	84,22	46,67	40,52	60,42
INV 31-B7	53,97	54,20	76,30	59,00	71,91	54,87	46,68	61,81	89,00	81,22	47,00	42,24	60,96
INV 32-B6	48,39	48,95	70,40	54,13	66,04	49,57	41,35	55,25	82,06	74,83	42,00	37,10	55,28
INV 33-B5	51,81	52,10	74,50	57,13	67,70	50,60	43,42	58,31	87,22	79,61	45,33	41,00	58,33
INV 34-B4	53,06	53,40	75,50	58,33	70,96	52,90	45,19	59,94	87,00	78,89	46,67	42,24	59,72
INV 35-B3	50,39	50,90	73,05	56,20	68,26	51,57	43,87	58,31	84,28	76,33	44,00	39,81	57,53
INV 36-B2	51,87	52,30	74,30	57,07	69,04	52,37	44,10	57,50	85,17	77,44	45,00	40,71	58,37
INV 37-B1	48,90	49,55	71,65	54,67	65,22	48,70	40,58	53,56	80,56	73,33	42,00	37,05	54,92
INV 38-C8	60,16	61,10	88,75	67,33	76,30	55,50	46,13	61,06	102,39	92,89	52,00	45,86	66,39
INV 39-C9	62,35	63,45	90,35	69,40	83,13	60,50	50,35	67,38	104,56	95,22	55,00	49,33	69,97
INV 40-E1	63,52	63,15	87,65	67,00	78,87	58,10	49,90	67,88	102,78	93,89	54,00	49,29	68,77
INV 41-C10	62,32	62,50	89,60	68,73	84,43	63,67	52,39	68,00	104,44	95,39	54,33	49,24	70,58
INV 42-E4	62,68	63,05	89,65	68,73	84,35	63,40	54,19	71,44	105,28	95,78	55,33	49,43	71,20
INV 43-E2	53,03	53,95	75,20	58,40	70,13	53,70	46,16	61,25	89,11	80,67	46,33	41,95	60,22
INV 44-E5	64,81	65,05	91,70	70,33	86,00	63,47	52,77	70,56	107,94	98,78	57,33	51,81	72,47
INV 45-E6	53,65	54,00	76,40	58,73	70,39	53,10	42,97	56,31	89,83	82,39	44,67	40,86	59,71
INV 46-E3	50,16	50,55	67,50	50,27	60,74	48,97	41,71	55,13	83,72	76,28	42,00	38,14	54,95
INV 47-E7	52,97	53,10	74,90	58,73	70,87	52,83	45,55	60,25	88,33	79,06	43,67	39,95	59,58
INV 48-E8	51,19	50,50	66,80	51,67	63,74	49,30	40,81	53,38	82,56	76,67	44,33	39,81	55,31
INV 49-E9	54,71	54,85	75,10	56,60	64,96	48,73	41,32	53,88	89,06	82,22	48,33	43,52	58,48
INV 50-E10	52,94	53,15	74,00	57,00	68,61	52,13	43,94	58,25	86,61	78,72	45,33	40,29	58,67

* Rata-rata produksi energi harian selama setahun, diperoleh dengan merata-ratakan produksi energi inverter bersangkutan setiap hari selama satu tahun